



パイセルを用いた新動画対応 LCD

中村 肇* / 末岡邦昭** / 三和宏一*** / 野口通一****

インパルス発光の CRT に対し、TFT-LCD はホールド型ゆえ 1 フレーム中画像を保持しているため、高速応答するパイセル (π -cell, Pi-cell) ですら動画表示の際には画像ぼけが見える。バックライトをインパルス方式にすると画像ぼけは消えるが、代わりにゴースト像が現れる。これは画素電圧を異なる値に書き換えたときの初めのフレームで起きる偽電圧が原因である。フレームごとに黒書き込みを行うサイクリックリセット駆動を用いたパイセルは画像ぼけも、ゴーストもない高品位な動画画質が得られる。

キーワード：動画、パイセル、画像ぼけ、ゴースト、CR 駆動

1. はじめに

情報ネットワークの発達に伴い動画情報が利用される場面が増えてきた。以前から LCD は液晶デバイスの電気光学応答特性、すなわち透過率の時間応答特性が動画表示特性を決定しているものとされて、電子素子一般に用いられるオン時間とオフ時間が特性比較の重要な項目であった。現在のところ実用に具されている液晶デバイスは STN 及び TN であるが、それらの応答速度は STN で数百 ms、TN で数十 ms と遅いので、1 秒間に 60 フレームの画像情報の書き換え時間 16.7 ms の間で、透過率の応答が終了しないという問題があった。また、これらは視野角においても十分に広いとはいえず、応答が速く、かつ視角特性の優れた新たな液晶デバイスが求められているのが現状であろう。一方、1980 年代はじめに Kent 大の教授 P.J.Bos によって紹介された Pi-cell¹⁾は、その後、我が国で東北大の内田教授が 2 軸性フィルムを用いてその光学補償を行った Optically Compensated Bend (OCB)^{2),3),4),5)}へと発展し、応答の高速性が特徴であり、かつ光学補償によりかなり広い視野角も得ることができる液晶デバイスである。光学補償については、従来から負の複屈折を有するフィル

ム⁶⁾あるいは面内にもリタレーションをもたせた 2 軸性フィルム^{2)-5),7)}があるが、その後、森らにより TN 液晶の広視角化のために開発されたディスコチック液晶フィルムをパイセルに応用したもの^{8),9)}がこれまでで最も広い視角特性を有している。図 1 はこのディスコチック液晶フィルムで光学補償したパイセルの構成を示す。液晶分子はツイスト変形がなく、セル内で向きが 180 度変わる bend 変形のみから成る独特の配向を有している。パイセルの上下に貼ったフィルム中のディスコチック液晶分子はそれぞれパイセルの上下半分の部分のネマティック液晶分子の配向と反対称になっているため、全体として上下のフィルムでパイセルの光学作用を相殺し、光学的等方性になっている。この光学補償は正の屈折率異方性分子で構成されるパイセルの分子配向を同じ分子配向を形成する負の屈折率異方性分子で補償することから、電子素子の CMOS の「相補的」を意味する C を用いて Complementary Pi-cell Structure (CPS)^{10),11)}と呼んでいる。

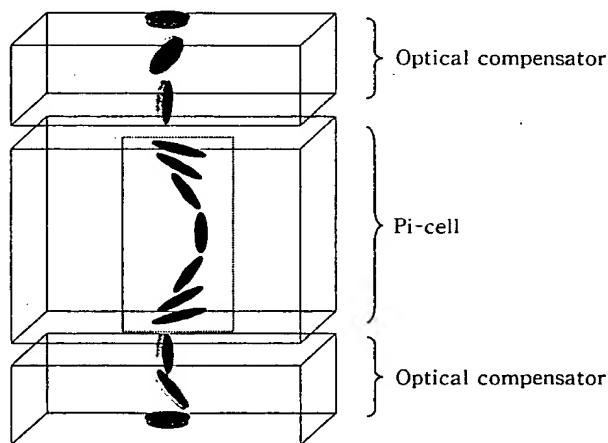


図 1 Pi-cell in CPS

* Hajime NAKAMURA
日本アイ・ビー・エム(株)東京基礎研究所
神奈川県大和市下鶴間 1623-14 (〒242-0001)

** Kuniaki SUEOKA
同上

*** Koichi MIWA
日本アイ・ビー・エム(株)ディスプレイテクノロジー
神奈川県大和市下鶴間 1623-14 (〒242-0001)

**** Michikazu NOGUCHI
同上
1999.2.12 受理

バイセルのオン時間及びオフ時間は1msと5msであり、現在最も高速なネマティック液晶デバイスである。実際に筆者らは、動画表示においてその高速性をTNと比較してみた。TNのほうは応答が遅いので画像の書き換えを行っても透過率の応答が終了するまでに数フレームの時間を必要とするので画像のぼけがひどかったが、バイセルは1フレーム時間内で十分応答しているため、画像のぼけはTNに比べ顕著に改善していることが確認できた。しかし、より注意深く観察すると画質のシャープさにおいてCRTの鮮明な画質には残念ながら及ばないことが認められた。バイセルの透過率が各フレームの書き換えに対しては階段状に応答しているところ、このCRTとの違いは何に起因するのであろうか。この疑問を出发点としてLCDの動画表示の問題について筆者らの行った実験及び考察の結果を報告する。すなわち、動画表示におけるLCDの問題点として、第1にLCDが連続発光による表示であるゆえに動きのある画像を見た場合に、前のフレームが後のフレームで書き換えられるときの階段状の透過率変化を観察していることによる画質のぼけ、いわゆるBlurringが見えるという人間工学的観点によるものを取り上げ、それはバックライトの発光をインパルス型にすることによって改善される¹⁰⁾ことを述べ、次に第2の問題として、そのインパルス型のバックライトを用いて高速度のLCDで動画表示をすることによって初めてその存在が確認されたゴーストについて取り上げる。これは画像データ書き換え後、TFTの遮断中に液晶が安定な状態へ緩和する際にセルの電圧容量が変化することによって起因する¹¹⁾。最後にそれらすべてを解決し、CRTと同等の完全な動画

2. LCD 動画表示の問題点

2.1 発光方式に起因する画像のぼけ

前述したように応答速度が1フレームより十分小さいバイセルは透過率の時間応答性の観点では全く問題がないにもかかわらず、CRTと同等の十分な動画画質が得られなかった。この現象を理解するために、発光モードの観点でLCDとCRTとの違いを指摘した石黒らの注目すべき見解¹²⁾が参考になる。すなわち、図2に見るようにCRTは走査された電子ビームの当たった部分の蛍光体が発光するデバイスゆえ1フレーム中の一部の時間だけ蛍光体から発光があるというインパルス発光(図では発光程度の時間変化を示す二つのうちの上のグラフ)の表示装置である。に対し、TFT-LCDは画像をずっと保持しており、かつバックライトで連続的に照明されているので、これをホールド型(図では下のグラフ、その右の縦軸は失印されている)の表示装置と呼び、動画表示が劣る理由として、現実のTFT-

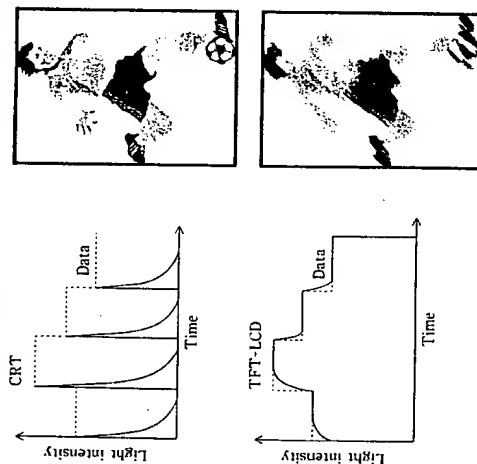


図2 CRT vs. TFT-LCD

LCDに一般的に用いられているTNデバイスでは応答性が悪く、ホールド型になっているとはいえないので、動画表示の問題が応答速度によるのか、ホールド型によるのかを判別できないのが実状であった。バイセルは高速の応答速度を有するホールド型表示装置と考えることができ、CRTと比べその動画画質が劣るのにはホールド型に起因すると考えてよい。この判断の妥当性を確認するためにLCDをインパルス型の発光モードにするなどどうなるかを調べた。すなわち、CRTのようなインパルス型の発光モードを実現する最も簡単な方法としてバックライトを画面リフレッシュに同期させて間欠的に点灯させる方法をバイセルで試したところ、動画画質のぼけがなくなることが確認できた。よって動画画質の問題は人間工学的な観点からLCD独特のホールド型の表示方式に起因し、それはインパルス型にすることで解決できると考えられることが示された。注意すべき点はこの方法ではバックライトの発光と同期する一部の画面のみに効果があり、それ以外の画面ではリフレッシュのときの書き換えで液晶が応答している途中でバックライトが発光することもあり、逆に画像のぼけがひどくなることも出てくる。画面すべてに有効な方法はバックライトを常に1列に必要数並べて一本一本の発光タイミングをずらして全画面をカバーするものである¹³⁾。

2.2 液晶電圧容量変化に起因するゴースト¹⁴⁾

良好な動画表示を得るのに、前述のインパルス発光のバックライトが画像のぼけを解消するのに有効であることを示したが、単にインパルス型にしただけではまだCRTと同等の完全な動画表示を得ることはできず、更にもう一つ新たな問題があることが分かった。例えば、ある黒の背景中をスームズに移動する白い物体を見ると、その進行方向の横断で中間色のゴーストが出現する、あるいは逆に白背景に黒物体では進行方向の逆側に尾を引くようなゴーストが観察される。これが単にインパルス型にしても解決

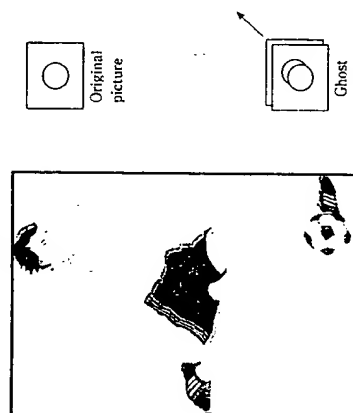


図3 Ghost picture

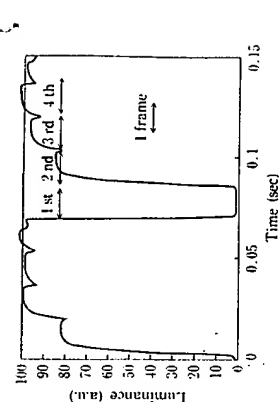


図4 Switching characteristics of Pi-cell

できない新たな問題である(図3にそのゴーストの様子を示す)。その問題を理解するために図4に通常のTFT-LCDの駆動方式でのバイセルの透過率の光学応答を示す。これは入力電圧データで始まり、それに続いて4フレーム遅延して白データを書くという一連のシーケンスを繰り返している場合の透過率の時間変化を観察したものである。図で透過率は最初の白フレームではまだ完全に白レベルに達しておらず、次のあるいはその次の白フレームあたりから目的の白レベルとなっている。最初の白フレームの開始点で白データを書き込むとセルが白レベル状態に向かう変化を開始し、バイセルの高速度応答性によりそのフレーム内でその応答は終了し、ある平衡状態には達している。しかし、その平衡状態のレベルは後に続くフレームの白レベルと比べて低いので、なんらかの中間的な状態となっている(ゲートオン時間に依存しないことは確認している)。この書き込み不足は起きないことは確認している。この最初の白フレームはホールド型の場合、フレームごととの分離がされていないので、次に続く白フレームと区別されず、ホールド型特有のぼけの中に入ってしまうと知覚されない。しかし、これをインパルス発光のバックライトで見れば、場合(発光のタイミングを注意深く設定し、透過率の変化している部分を選び、平衡状態にある部分を選んだ)、各フレームがよく分離されて見えるため、画像が黒から白に変化する際の最初の白フレームが中間色になる。黒背景中をスームズに移動する白い物体の進行方向の横断で中間色のゴーストになる。これが単にインパルス型にしても解決できない問題である。

さてこの中間状態がなぜ起きるのかについてであるが、これはTFTによる駆動原理と液晶の誘電率に深く関連している。図5を見よう。セルの最初の平衡状態(図の左)は黒に対する高電圧(V_0 とする)の状態、すなわちbend配向している液晶分子のほとんどが電界の向きに合わせ垂直に立っている。このときのセル容量を C_{00} とする。次に白データ、すなわち白に対する低電圧(V_1 とする)が

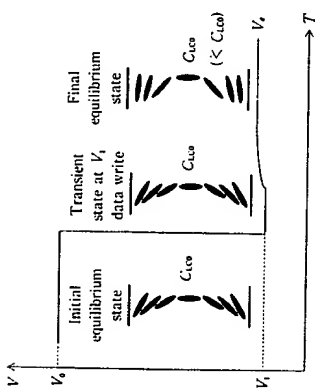


図5 Change in cell capacitance

書き込まれた瞬間にセル電圧は V_0 から V_1 になるが、液晶分子はまだ動いていないから非平衡状態 (図の中央) となる。このときのセル容量は C_{00} のままである。この状態から液晶分子は直ちに新たな平衡状態 (図の右) に向かう。すなわち、液晶分子を垂直に立てていた電界が弱まったので、液晶分子の傾きは垂直から水平に向かい、液晶分子軸に平行な大きな誘電率成分が減り、逆に垂直な小さな誘電率成分が増え、セルをキャパシタンスと考えるとセル両端の電圧容量は減少する。すなわち、セル容量は C_{00} から C_{01} へ減少する。ここでセル電圧が書き込まれた瞬間の非平衡状態から新たな平衡状態になるようにする間は、TFT が遮断中ゆえセル両端に蓄積されている電荷は保存されているとすることができるので、初期の非平衡状態に比べて到達した平衡状態のほうがセル電圧は大きくなる。すなわち、セル電圧は V_1 から V_2 に上昇することになる。それゆえ到達した平衡状態のセル電圧は目的の白でなくやや濃い中間色となる。図6はセル両端の電圧に依存する平衡状態セルの電圧容量を太線のカーブで示して

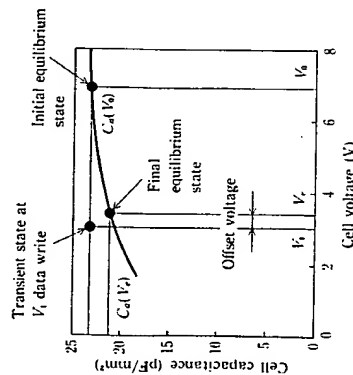


図6 Offset voltage

いる。ここでは C_0 と表記したセル電圧容量とはこれまでに C_{cc} と表記した画素電極と対向電極の間の液晶自体の画素容量のみならず、画素電極と接続されている比較的大きな蓄積容量やほかの極めて小さいカップリング容量などの実際の TFT デバイスの場合に考慮すべきものを含むように拡張されている。これから書き込み電圧と新たな平衡状態のセル電圧のずれ ($V_1 - V_2$) を導いてみよう。これまでの議論を振り返ると、セルはまず黒電圧 V_0 における平衡状態、すなわちカーブ上のセル電圧 V_0 の状態にある。ごく短時間 TFT を導通させて V_1 を印加した瞬間そのままセル電圧が V_1 の非平衡状態になる。「そのまま」としたのは、その電圧印加の短い瞬間では液晶分子は動き得ないからである。この非平衡状態はセル電圧 V_0 における平衡状態と同じ電圧容量を有するが、これをセル電圧の関数で $C_0(V_0)$ と表すと、その電荷量は $V_0 C_0(V_0)$ となる。この非平衡状態は TFT が非導通の間に電荷量を保持したままそれと等しい電荷量を有する別の平衡状態に移る。この新たな平衡状態は図でカーブ上にあり、その位置は電荷量保存が成り立つことから、非平衡状態の電荷量と新たな平衡状態の電荷量を等置することにより求められる。すなわち、

$$V_0 C_0(V_0) = V_1 C_0(V_1)$$

である。ここで新たな平衡状態のセル電圧を V_1 、電圧容量を $C_1(V_1)$ とした。図ではセル電圧容量 $C_0(V_0)$ の線とセル電圧 V_1 の線で囲まれた長方形の面積とセル電圧容量 $C_1(V_1)$ の線とセル電圧 V_1 の線の間で囲まれた長方形の面積が等しくなるように V_1 が決まるのである。 V_0 と V_1 との大小関係は太線カーブの形状が単調増加であること、すなわち一般にセル電圧が増加すれば液晶分子が電界に沿ってどんどん垂直に立ち、誘電率が大きい分子軸方向の寄与が増加することから、セル電圧容量は単調増加することを考慮すると、平衡状態の電圧 V_2 は常に印加電圧 V_1 より電圧が高くなる。これははじめの状態の電圧より低い電圧で書き換える場合に一般的に成り立つものである。逆に高い電圧で書き換えた場合の到達した平衡状態の電圧は書き換え電圧よりも小さくなる。いずれの場合も平衡状態の電圧 V_2 は印加電圧 V_1 と等しくならず、必ずそれよりも元の平衡状態の電圧 V_0 のほうに少しシフトしている。このシフトした電位差をオフセット電圧と呼び、 $\Delta V = V_2 - V_1$ と定義する。このオフセット電圧は先の電荷量保存の等式から次のように表せる。

$$\Delta V = V_1 (C_0(V_0) - C_0(V_2)) / C_0(V_1)$$

上式の右辺の括弧内はセル電圧に依存するのが画素容量の要素のみと考えられるので、

$$\Delta V = V_1 (C_{cc}(V_0) - C_{cc}(V_2)) / C_{cc}(V_2)$$

と書き直せる。ここで $C_{cc}(V_0)$ と $C_{cc}(V_2)$ はセル電圧 V_0

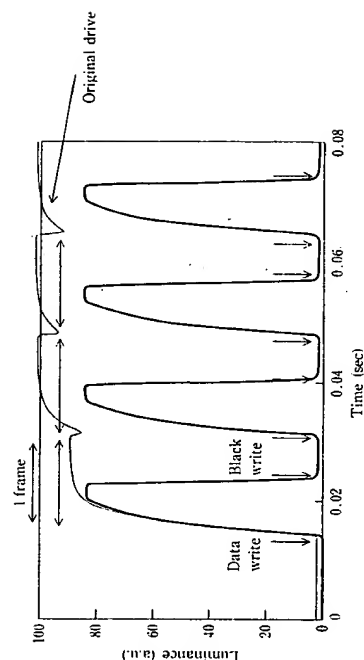


図7 Optical response with CR drive

と V_2 の液晶のみによる画素容量である。右辺に V_2 が残っているのはオフセット電圧 ΔV を直接求めることはできないが、例えば蓄積容量を大きくし、 C_0 と C_{cc} との比を大きくすればオフセット電圧を小さくできることが理解できる。

さて以上のように画面データを書き換える最初のフレームではオフセット電圧だけ印加電圧からずれた V_1 における平衡状態になるが、その次のフレームでもう一度同じ印加電圧で書き換えると V_1 から更に V_2 に近い平衡状態になり、それが繰り返されて数フレーム後は印加電圧 V_1 における平衡状態とはほぼ等しくなる。実際にそれらのフレームでゴーストが見えるかどうかは、液晶セルの透過率がセル電圧に対してどのように変化するかに依存する。バイセルでは透過率の電圧依存性が大きいのは白電圧付近なので、黒から白への書き換えるほうが白から黒への書き換える場合よりゴーストは顕著である。

TN では応答が数フレームかかるほど遅いため、表示が変化した後の数フレームの間は、セルの透過率はずっと変化しているためフレームごとの平衡状態が存在せず、前述のような現象を見いだすことはこれまで不可能であったと思われる。インパルス型のバックライトを TN で試すと、透過率が少しずつ変化する数フレームかやばりゴーストになって現れるが、バイセルと比べるとそのゴーストは3重4重になって見える。このときのゴーストの原因はオフセット電圧の寄与というよりも液晶の遅い応答速度によるといえる。この TN に CR 駆動を適用するのは不適当である。というのは液晶の応答が遅いため表示時間が1フレームよりかなり短い時間では透過率の変化がほとんど起きないからである。

さてもう一度バイセルのような応答性のよい液晶を考え、場合、液晶の応答が1フレームよりも十分に速くても必

ず表示が変化した際のフレームにオフセット電圧が存在し、インパルス型バックライトでフレームを分離して見た場合に中間調のゴーストが現れる原因となることが示された。もし応答が TFT のゲートオン時間中に終了するような液晶であれば、オフセット電圧は生じないことになるが、このような超高速な液晶は近い将来に現れるとは考えにくい。そこで現在のバイセルの応答性を最大限利用して前述の問題に対する解決手段として考案したのが次に述べる動画表示の新駆動方式である。

3. 動画表示の新駆動方式

3.1 駆動の原理

CRT のインパルス型と同様な発光モードで動作し、かつ前述のオフセット電圧によるゴーストがない表示をするために、従来の駆動方式を変更し、次のような新たな駆動方式とした。それは各フレームの1周期中の一部の時間だけ黒表示をするための高い電圧を印加して、その間 CRT と同様に画面がアランキンクされるようにしたものである。これを Cyclic Resetting Drive (以下、CR 駆動と呼ぶ) と呼ぶ。この方式はインパルス発光のバックライトと異なり、画面のラインを個々にアランキンクするので、より CRT のインパルス型に近い表示になる利点がある。また、これにより表示データ型の書き込み前は、黒表示のための一定の電圧が書き込まれているので、前フレームで書き込んだ表示データの影響が小さくなり、前述のオフセット電圧によるゴースト発生を抑えることができる。図7はこのアランキンク時間が1フレーム時間の30%の場合でのバイセルの透過率の時間変化を太線で示している。細線で示した従来の駆動で顕著だったオフセット電圧はほぼ解消している。CR 駆動の効果は1フレーム中のアランキンク時間の割合が多いほど動画表示特性が良くなることを

られるが、プランニングによる1フレームでの時間平均透過率の低下があるので、それも考慮してプランニング時間を決めることとなる。実際はいくら高速といってもバイセルのレスポンス時間には限界があり、特にオフ時間は5msとそれと遠くないため、プランニングの黒レベルからの透過率の立ち上がりが遅く、透過率はステップ状でなくのこぎり波状となっている。そのためデューティサイクル50%前後で動作させるのが望ましく、これにより解像度プランニング時間が大きくなると最大到達透過率が落ち、平均透過率の急減をきたす。逆に解像度プランニング時間が短いと動作表示の改善度は低い。

3.2 Dynamic Bend

バイセルはbendモードを維持するために通常2~3V程度の電圧を最低限印加しておかなければならない。これ

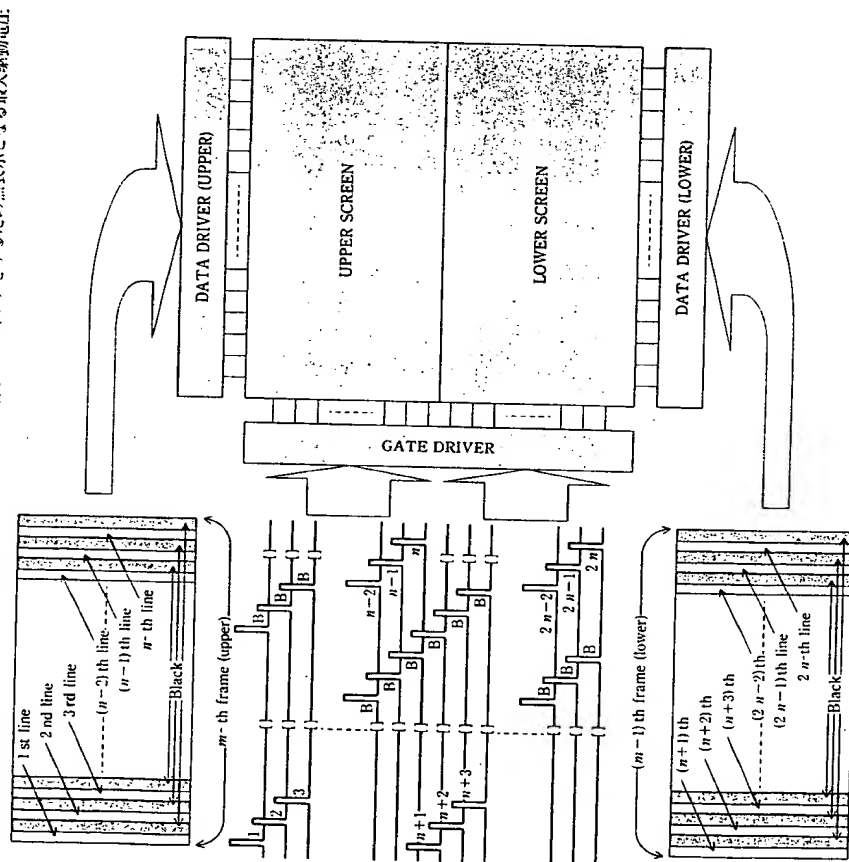


図8 Schematics of CR drive

を加えているので、ある条件によっては表示リフレッシュ電圧が先の臨界電圧よりも低くてもバイセルがbend状態を維持していることが分かった。例えば、黒表示となる最大駆動電圧を6Vとし、表示リフレッシュ電圧を臨界電圧以下0Vまで下げていくと、プランニング期間に接された表示期間での透過率の変化は、bend状態が維持されていると仮定して計算した結果と同じになった。このようなバイセルの配向は不安定なbend状態と考えられ、これまでの定常的なbend状態と区別するため、dynamic bend¹⁾と名付けた。この状態の維持時間は原理的には電圧を臨界電圧以下に下げたときの準安定状態になってから本来の平衡状態であるtwist状態へ変化するまでの時間であり、液晶物性で決まると考えられ、通常の条件では60Hzのリフレッシュサイクルよりその時間は十分長い。しかし、実際のTFT AMLCDでは画素周辺の不均一電界による局所的なsplayがあり、Dynamic bendはsplay状態に非常に速く転移する。それゆえ1フレーム中で表示がされている時間の割合であるデューティサイクルの長短、上限がおり、駆動電圧範囲が0~6.3Vの場合で約85%であった。

3.3 画面2分割

情報端末用途のLCDは時分割駆動で1フレーム中に走査するライン数が多く、各ラインを選択する時間が非常に

短く、1画素を充電するのに必要な最低限の時間となっており、そのままではCR駆動のため1フレーム中に更に黒書き込みを行うことができない。それを解決するため今回採用した方式を図8に示す¹⁾。すなわち、1画面を上下2分割し、それぞれを別々に駆動するのをテータードライバを上下に配置し、ゲートドライバは上半分と下半分の画面に同時にゲートパルスを出すことによって、これまでの半分の時間で画面をリフレッシュすることができ、残りの半分の時間で黒書き込みができるようになる。1フレームを全画面中のライン数2nの時間スロットに分割することとし、画面のリフレッシュは奇数スロットで行い、偶数スロットでは黒書き込みをする時間にあてる。奇数スロットでゲートドライバは上半分の画面の第1ライン（ゲートドライバの出力波形で1とn+1で示されたライン）を2本同時に選択し、同時にテータードライバがその選択されたラインの画素情報を読み出す。第3スロットでは各上下画面のそれぞれ第2ライン（同様に2とn+2で示されたライン）を同様リフレッシュし、以下同様、各上下画面の最終ライン（同様にnと2n）までリフレッシュをする。正面から観察すると、上画面の最終ラインのリフレッシュされた後の次のフレームの最初で下画面の第1ラインがリフレッシュされるので、全画面で上から下ま

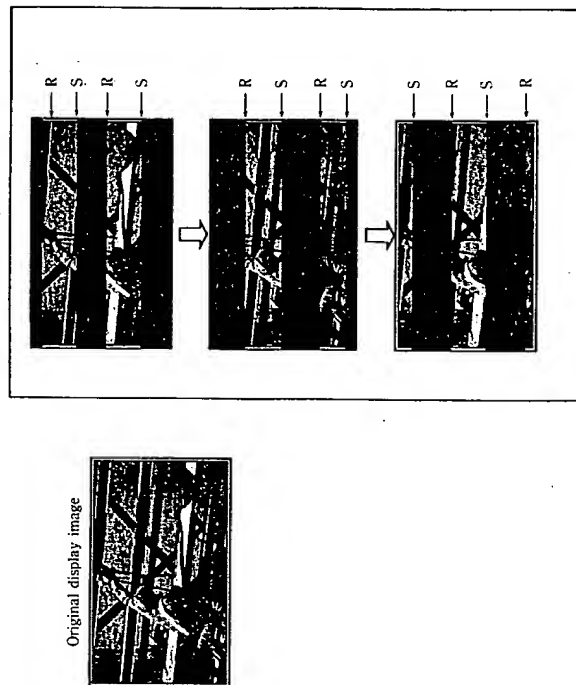


図9 Display images with CR drive

で連続してリフレッシュされるという点でこれまでと同じ画面走査を見ることになる。各ラインのリフレッシュされる時間もこれまでと同じである。これまでと異なるのは、偶数スロットで行われる黒書き込みである。図でデータドライバはいずれの偶数スロットでも黒書き込みの電圧を出力している。上下分割画面のそれぞれの第1ラインに対しリフレッシュし、後のある所望のタイミングに属する偶数スロットでゲートパルスを与えてそれらのラインをブランキングする。第2ラインに対してはそのすぐ次の偶数スロットでゲートパルスを出してブランキングし、上下分割画面の最終ラインまで同様に繰り返した後また第1ラインに戻って繰り返される。各ラインは1フレーム周期中で通常のリフレッシュの後ある一定の時間をおいて黒書き込みを受けるが、そのタイミングは1フレーム中に均等に並んでいる偶数スロットのいずれかを選ぶことにより任意のデューティサイクルのCR駆動が行えるように工夫した。このCR駆動で表示される画面は図9に示すようになっており、CRTと同様に画面が上から下にリフレッシュされるとともに(Setで示した箇所)ある一定の時間後にブランキングされている(Resetで示した箇所)。ただし、ブランキングは画面上で二つの領域で行われるところが一部異なっている。この方式でCR駆動を実施したパネルを試作し、CRTと同様の動画表示品質が得られていることを確認できた。

4. おわりに

LCDの動画表示における液晶の時間応答性が重要な因子であるという認識はSTNと比較してのTNまでは有効であったが、パイセルのように1フレーム内で応答が終了する高速の液晶が登場してくると、液晶の応答性だけを議論するのは不十分になってきた。すなわち、LCDの動画表示のばけは非発光表示デバイスであるホールド型表示装置に固有の問題であり、CRTのインパルス型に近づけるのが有効な解決手段である。しかし、インパルス型にした場合、前述したようなゴーストの問題があり、それはTFT-LCD特有の問題で液晶セルの電気容量の変化から発生するオフセット電圧が原因であることが明らかになった。これらは高速応答性を有するパイセルを用いることによって初めて確認することができた。今後、優れた動画特

性を有するLCDの実現に向かって動画表示の本質の更なる解明が進むことを期待する。

謝 辞

OCBの技術的指導をしていただいた東北大の内田教授、CPSのためのディスコティック液晶フィルムの開発をしていただいた富士フィルムの関係者に感謝いたします。技術的議論あるいは実験試作に協力していただいた日本アイ・ビー・エムの多数の関係者にも感謝の意を表します。

参考文献

- 1) P. Bos, P. Johnson and R. Koehler/Beran : *SID'83 Digest*, p. 30 (1983)
- 2) Y. Yamaguchi, T. Miyashita and T. Uchida : *SID'93 Digest*, p. 277 (1993)
- 3) T. Miyashita, P. Vetter, M. Suzuki, Y. Yamaguchi and T. Uchida : *Eurodisplay'93 Digest*, p. 149 (1993)
- 4) C. L. Cuo, T. Miyashita, M. Suzuki and T. Uchida : *SID'94 Digest*, p. 927 (1994)
- 5) T. Miyashita, C. -L. Cuo, M. Suzuki and T. Uchida : *SID'95 Digest*, p. 797 (1995)
- 6) P. Bos and J. Rahman : *SID'93 Digest*, p. 273 (1993)
- 7) H. Nakamura : *SID'96 Applications Digest*, p.85 (1996)
- 8) H. Mori, Y. Itoh, Y. Nishiura, T. Nakamura and Y. Shinagawa : *SID'97 Digest*, p. 941 (1997)
- 9) H. Mori and P. Bos : *1997 IDRC*, p. M - 88 (1997)
- 10) H. Nakamura, K. Miwa, M. Noguchi, Y. Watanabe, J. Mamiya, J. Watanabe, Y. Nishiura and Y. Shinagawa : *SID '98 Digest*, p. 143 (1998)
- 11) 西浦, 渡部, 品川, 中村, 三和, 野口, 渡部, 間宮 : 第7回ポリマー材料フォーラム, p.363 (1998)
- 12) K. Sueoka, H. Nakamura and Y. Taira : *IDRC'97 Digest*, p. 203 (1997)
- 13) H. Nakamura, K. Miwa and K. Sueoka : *IDRC'97 Digest*, p. L 66 (1997)
- 14) K. Miwa and H. Nakamura : *IDW'97 Digest*, p. 85 (1997)
- 15) 石黒, 栗田 : 電子情報通信学会技報 EID 96 - 4, p.19 (1996)
- 16) T. Kurita, A. Saito and I. Yuyama : *IDW'98*, p. 823 (1998)
- 17) 吉原, 牧野, 井上 : LCDがCRTモニター市場に食い込むには - 動画表示の観点から -, 液晶学会 LCD フォーラム主催, p. 12 (1998)
- 18) 山本 : 月刊 FDP Intelligence, 1号, p.36 (1999)

BEST AVAILABLE COPY